

3/pt/27

1

## Beschreibung

Mehrpoliger, permanenterregter Rotor für eine rotierende elektrische Maschine und Verfahren zur Herstellung eines solchen  
5 Rotors

Die Erfindung liegt auf dem Gebiet der rotierenden elektrischen Maschinen und ist bei der konstruktiven Gestaltung von Rotorkernen anzuwenden, die mit Permanentmagneten in der sogenannten Flußkonzentrations-Bauweise bestückt sind.  
10

Nach erfolgreicher Entwicklung spezieller Dauermagnete, sogenannter Hart-Ferrite, die den harten Beanspruchungen in elektrischen Maschinen gewachsen sind, sind derartige Magnete in größerem Umfang in rotierenden elektrischen Maschinen zur Erzeugung des rotierenden Magnetfeldes eingesetzt worden. Für Motoren und Generatoren mit Nennleistungen bis 30 kW bei 3000 U/min wurden verschiedene Möglichkeiten für die Anordnung der Permanentmagnete im Rotor oder im Stator entwickelt. Dabei  
15 hat sich oberhalb einer Nennleistung von einigen 100 W die sogenannte "Flußkonzentrations-Bauweise" als die technisch bessere Lösung erwiesen. Eine Ausführungsform dieser Bauweise besteht darin, die Permanentmagnete in den Pollücken des Rotors anzuordnen (Siemens-Zeitschrift 49, 1975, Heft 6, Seite  
20 368ff/369, Bild 3). Eine bekannte konstruktive Lösung hierfür besteht darin, die im Querschnitt als flache Rechtecke und in Magnetisierungsrichtung flach ausgebildeten Permanentmagnete radial zur Rotorachse in nutartigen Zwischenräumen zwischen jeweils zwei am Rotorkörper fixierten Jochen anzuordnen  
25  
30 (EP 0 582 721 B1).

Bei einem anderen bekannten, mit Permanentmagneten bestücktem Rotor einer elektrischen Maschine sind mit einer hohlen Ro-

torwelle verschweißte Pole derart geformt, daß zwischen zwei Polen ein im Querschnitt trapezförmiger Aufnahme-  
raum für im Querschnitt ebenfalls trapezförmig gestaltete Permanentmagnete vorhanden ist. Die äußere Oberfläche des Rotors wird dabei  
5 von einer aufgeschrumpften Armierung aus einer Kupfer-Beryllium-Legierung gebildet (US 4,242,610).

Bezüglich des Handhabens von Permanentmagneten beim Aufbau von Rotoren elektrischer Maschinen ist es weiterhin bekannt,  
10 die Magnetkörper im unmagnetisierten Zustand zu montieren und nach ihrer Anordnung auf dem Rotor aufzumagnetisieren, beispielsweise mit Hilfe der Ständerwicklung der elektrischen Maschine (EP 0 195 741 B1).

15 Nachdem in neuerer Zeit hoch energiehaltige Magnete, z.B. auf der Basis Neodym-Eisen-Bor (NeFeB), entwickelt worden sind, kommt der Einsatz von permanenterregten Rotoren auch für elektrische Maschinen mit einer Nennleistung von mehr als 100 kW in Betracht, beispielsweise bei Schiffsantrieben mit einer  
20 Nennleistung von 5 bis 30 MW. Derartige Maschinen haben einen Rotordurchmesser von mehr als 25 cm bis zu etwa 300 cm. Wenn die Rotoren solcher Maschinen in Flußkonzentrationsbauweise aufgebaut werden, bereitet das Einbringen und Befestigen der Magnete Schwierigkeiten.

25 Ausgehend von einem permanenterregten Rotor mit den Merkmalen des Oberbegriffes des Patentanspruches 1 liegt der Erfindung die Aufgabe zugrunde, den Rotoraufbau so zu gestalten, daß die Permanentmagnete ohne großen Kraftaufwand montiert werden  
30 können.

Zur Lösung dieser Aufgabe ist gemäß der Erfindung vorgesehen, daß jedes Joch in Umfangsrichtung in zwei sich jeweils über

eine halbe Polteilung erstreckende Halbjoche aufgeteilt ist und daß jeweils die beiden einander benachbarten Halbjoche zweier nebeneinander angeordneter Jochs mittels Stirnplatten zu einem Polelement verbunden sind und jedes Polelement für sich auf dem Rotorkörper fixiert ist. Hierbei können die Polelemente derart ausgebildet sein, daß entweder jedes der beiden Halbjoche auf seiner einem nutartigen Zwischenraum zugewandten Fläche mit Permanentmagneten bestückt ist oder daß nur eines der beiden Halbjoche auf der dem anderen Halbjoch zugewandten Oberfläche mit Permanentmagneten bestückt ist. - Bei der Anordnung der Permanentmagnete auf den entsprechenden Oberflächen der Halbjoche und der Polelemente am Rotorkörper geht man zweckmäßig derart vor, daß die Magnete im nichtaufmagnetisierten Zustand auf die Halbjoche aufgebracht werden und daß nach dem Zusammenfügen zweier Halbjoche zu einem Polelement, aber noch vor dem Aufsetzen der Polelemente auf den Rotorkörper die Magnete aufmagnetisiert werden.

Bei einer derartigen Ausgestaltung der Pole und Zuordnung der Magnete zu den Polen des Rotors können sowohl die einzelnen Magnete bei ihrer Anordnung - in aller Regel durch Verkleben - auf den entsprechenden Oberflächen der Halbjoche als auch die aus Halbjochen und Magneten bestehenden Polelemente ohne übergroßen Kraftaufwand gehandhabt werden. Bei Rotoren größerer Länge empfiehlt es sich außerdem, die einzelnen Polelemente in Achsrichtung des Rotors in mehrere Teil-Polelemente aufzuteilen, um handliche und leicht magnetisierbare Einheiten zu erhalten.

Beim Zusammenfügen der einzelnen Teile eines Polelementes kann es zweckmäßig sein, zwischen den beiden Halbjochen verbleibende Zwischenräume mit einem Material auszufüllen, das unter Einwirkung von Tränkharzen quillt. Weiterhin kann man

auch die zwischen den Halbjochen angeordneten Permanentmagnete in radialer Richtung durch Doppelkeile sichern, die sich an entsprechenden Vorsprüngen der Halbjochse abstützen.

- 5 Die Verbindung der jeweils beiden Halbjochse zu einem Polelement erfolgt zweckmäßig mittels zweier vorzugsweise amagnetischer Stirnplatten, die mit den beiden Halbjochen verschraubt und verstiftet werden und die die dauerhafte Fixierung der beiden Halbjochse zueinander übernehmen. Nach dem Zusammenbau
- 10 der Polelemente können diese durch nachfolgende Tränkung mit einem Harz mit einem Oberflächenschutz versehen werden, der insbesondere die korrosionsempfindlichen Permanentmagnete dauerhaft vor schädlichen Einflüssen schützt.
- 15 Nach der Aufmagnetisierung der Polelemente werden diese auf den rohrförmig ausgebildeten Rotorkörper aufgesetzt und mit diesem von innen bzw. außen verschraubt. Der Rotorkörper ist dabei vorzugsweise amagnetisch ausgeführt.
- 20 Die gemäß der Erfindung vorgesehene Ausgestaltung von permanentregten Rotoren kann sowohl für Maschinen mit einem Innenläufer als auch für Maschinen mit einem Außenläufer angewendet werden. Bei Außenläufermaschinen kann es sich insbesondere um Generatoren von Windkraftanlagen oder um Antriebsmotore
- 25 für Schachtförderanlagen handeln.

Drei Ausführungsbeispiele von gemäß der Erfindung ausgebildeten und hergestellten Rotoren sind in den Figuren 1 bis 5 ausschnittsweise dargestellt. Dabei zeigt

- 30 Figur 1 ein erstes Ausführungsbeispiel für die Ausgestaltung der Pole und Joches,  
Figur 2 ein gemäß der Erfindung ausgebildetes Polelement in Frontansicht,

- Figur 3 die Aufteilung eines Polelementes in mehrere Teilpolelemente,
- Figur 4 ein zweites Ausführungsbeispiel für die Ausgestaltung von Polen und Jochen und
- Figur 5 die Ausgestaltung von an einem Außenläufer angeordneten Polen und Jochen.

Figur 1 zeigt im Ausschnitt einen Querschnittsbereich eines Rotors einer elektrischen Maschine, der aus einem Rotorkörper 1, auf dem Rotorkörper 1 befestigten Rotorjochen 2/3 und an den Rotorjochen befestigten Permanentmagneten 5 besteht. Jedes Rotorjoch ist dabei in zwei Halbjoche 2,3 unterteilt, wobei zwischen jeweils zwei Jochen ein nutartiger Zwischenraum 4 vorgesehen ist. In den nutartigen Zwischenräumen 4 sind die in Umfangsrichtung magnetisierten Permanentmagnete 5 angeordnet, wobei sich jeweils ein Permanentmagnet 5 bzw. eine aus einer Vielzahl kleinerer Permanentmagnete bestehende Magnetschicht auf den dem nutartigen Zwischenraum 4 zugekehrten Oberfläche des jeweiligen Halbjoches angeordnet ist. Die Permanentmagnete 5 sind dabei üblicherweise mit dem Halbjoch 2 bzw. 3 verklebt. - Alternativ können auch beide Magnetschichten nur einem der beiden Halbjoche zugeordnet sein.

Der zwischen zwei Halbjochen 3 und 2 bzw. zwischen den einander benachbarten Permanentmagneten 5 verbleibende Zwischenraum kann gegebenenfalls mit einem unter Einwirkung von Tränkharz quellbaren Material 9 ausgefüllt sein. Weiterhin können zur radialen Fixierung der Permanentmagnete 5 können sowohl zwischen dem Rotorkörper 1 und den Permanentmagneten als auch zwischen den Permanentmagneten und der Peripherie des Rotors Doppelkeile 8 angeordnet sein.

Gemäß Figur 2 sind jeweils zwei zu unterschiedlichen Jochen gehörende Halbjoch 3,2 zusammen mit den an den entsprechenden Seitenflächen angeordneten Permanentmagneten 5 mit Hilfe von Stirnplatten 6 zu einem Polelement 7 zusammengefaßt. Mehrere derartige Polelemente werden unabhängig voneinander am Umfang des Rotorkörpers 1 angeordnet und beispielsweise durch eine Schraubverbindung mit dem Rotorkörper verbunden.

Bei der Herstellung der Polelemente 7 geht man zweckmäßig derart vor, daß zunächst auf der entsprechenden Seitenfläche eines Halbjoches 2 bzw. 3 der noch nicht aufmagnetisierte Permanentmagnet angeordnet, d.h. aufgeklebt wird. Anschließend werden zwei Halbjoch 2,3 einander zugeordnet und mit Hilfe von zwei Stirnplatten 6 zueinander fixiert. Danach wird das so entstandene Polelement 7 in eine Aufmagnetisierungs- vorrichtung gegeben und es werden die Permanentmagnete 5 aufmagnetisiert. Das aufmagnetisierte Polelement 7 kann dann auf dem Rotorkörper 1 angeordnet werden.

Bei elektrischen Maschinen mit größerer Länge des Rotors empfiehlt es sich, das jeweilige Polelement 7 in Achsrichtung des Rotors in Teilpolelemente 73 aufzuteilen, wie es in Figur 3 dargestellt ist. Dabei sind dann mehrere gemäß Figur 2 ausgebildete Teilpolelemente axial hintereinander auf dem Rotorkörper angeordnet.

Figur 4 zeigt eine Variante zu Figur 1. Hierbei sind die Halbjoch 2',3' so ausgebildet, daß zwischen ihnen ein als Flußsperre wirkender Hohlraum 71 entsteht. Über diesen Hohlraum kann der von der Ständerwicklung erzeugte Anteil des magnetischen Flusses in den einzelnen Halbjochen beeinflußt werden.

Gemäß Figur 5 ist der dargestellte Rotor als Außenläufer mit einem außen angeordneten Tragkörper 11 ausgebildet. Die Anordnung von Halbjochen 2'' und 3'' sowie die Zuordnung der Permanentmagnete 5 entspricht im Prinzip den Ausführungsbeispielen gemäß Figur 1 und 4. Hier ist abweichend von Figur 4 ein V-förmig gestalteter flußfreier Raum 72 zwischen jeweils zwei Halbjochen vorgesehen.

## Patentansprüche

1. Mehrpoliger, permanenterregter Rotor für eine rotierende elektrische Maschine, bei dem zur Erzeugung von ausgeprägten Magnetpolen quaderförmige, in Magnetisierungsrichtung flach ausgebildete Permanentmagnete radial zur Rotorachse in nutartigen Zwischenräumen zwischen jeweils zwei am Rotorkörper - fixierten Jochen angeordnet sind,  
 d a d u r c h g e k e n n z e i c h n e t ,  
 10 daß jedes Joch in Umfangsrichtung in zwei sich jeweils über eine halbe Polteilung erstreckende Halbjoche (2,3) aufgeteilt ist und  
 daß jeweils die beiden einander benachbarten Halbjoche (3,2) zweier nebeneinander angeordneter Joche mittels Stirnplatten  
 15 (6) zu einem Polelement (7) verbunden sind und jedes Polelement (7) für sich an dem Rotorkörper (1) fixiert ist.

2. Permanenterregter Rotor nach Patentanspruch 1,  
 d a d u r c h g e k e n n z e i c h n e t , daß  
 20 jedes der beiden Halbjoche auf seiner einem nutartigen Zwischenraum (4) zugewandten Fläche mit Permanentmagneten (5) bestückt ist.

3. Permanenterregter Rotor nach Patentanspruch 2,  
 25 d a d u r c h g e k e n n z e i c h n e t ,  
 daß die zwischen den beiden Halbjochen (2, 3) eines Polelementes (7) verbleibenden Zwischenräume (4) mit unter Einwirkung von Tränkharz quellbarem Material (9) ausgefüllt sind.

- 30 4. Permanenterregter Rotor nach einem der Ansprüche 1 bis 3,  
 d a d u r c h g e k e n n z e i c h n e t ,  
 daß die Permanentmagnete (5) radial durch Doppelkeile (8) gesichert sind.



5. Permanenterreger Rotor nach einem der Ansprüche 1 bis 4,  
dadurch gekennzeichnet,  
daß die einzelnen Polelemente (7) in Achsrichtung des Rotors  
5 in mehrere Teilpolelemente (73) aufgeteilt sind.

6. Verfahren zu Herstellung eines permanenterregten Rotors  
nach Patentanspruch 1, bei dem zunächst nichtaufmagnetisierte  
Magnete vor ihrer Anordnung am Rotorkörper aufmagnetisiert  
10 werden,  
dadurch gekennzeichnet,  
daß die Magnete (5) nach dem Zusammenfügen zweier Halbjochs  
zu einem Polelement (7) aufmagnetisiert werden.

## Zusammenfassung

Mehrpoliger, permanenterregter Rotor für eine rotierende elektrische Maschine und Verfahren zur Herstellung eines solchen

## 5 Rotors

Um bei einer rotierenden elektrischen Maschine, für die bei einer Nennleistung größer 100 kW ein permanentmagneterregter Rotor in Flußkonzentrations-Bauweise verwendet wird, eine  
10 möglichst einfache Montage zu ermöglichen, bilden jeweils zwei einander benachbarte Halbjochs (3,2) zweier Pole sowie dazwischen angeordnete Magnete (5) ein Polelement (7), das für sich auf dem Rotorkörper (1) fixierbar ist.

## 15 Figur 2